

## СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КА "ФОТОН - М"

Кириллов А.А., Богоявленский Н.Я.

Основными составляющими полного тока, текущего через поверхность КА, является ток электронов и ток положительных ионов окружающей плазмы, токи вторичной эмиссии, обусловленные первичными токами плазмы, и фотоэлектронный ток, возникающий под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Величины этих составляющих зависят как от характеристик внешних воздействующих факторов (интенсивности солнечного излучения, энергии и плотности потока частиц плазмы), так и от свойств поверхности КА, в первую очередь от ее эмиссионных характеристик.

Результирующий электрический потенциал поверхности КА определяется условием динамического равновесия, когда суммарный ток, текущий через поверхность, равен нулю. Но отдельные составляющие тока, направленные к поверхности или от нее, при этом не равны нулю, т.е. происходит непрерывный обмен зарядами между поверхностью КА и окружающей плазмой. Изменение любого параметра, влияющего на такой обмен зарядами (будь то коэффициент вторичной электронной эмиссии поверхности или энергия частиц плазмы), повлечет за собой смещение состояния равновесия - суммарный ток станет равным нулю уже при другом значении потенциала поверхности. Состояние равновесия характеризуется тем, что между поверхностью и окружающей плазмой устанавливается некоторая разность потенциалов, которая "регулирует" поступление частиц плазмы на поверхность КА, тормозя частицы одного знака и ускоряя частицы противоположного знака.

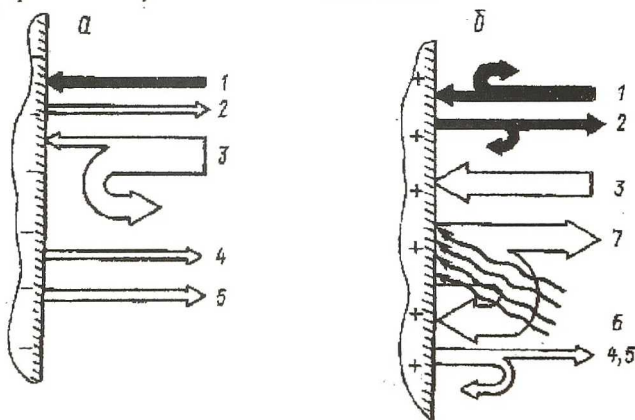
При одинаковой энергии электронов и ионов плазмы первые имеют значительно более высокую скорость из-за различия масс частиц. Поэтому вначале, пока внесенное в плазму тело не заряжено, поток электронов, текущий на поверхность, превышает поток положительных ионов, и тело заряжается отрицательно. Далее поступление заряженных частиц на поверхность происходит в условиях действия тормозящего электрического поля по отношению к электронам и ускоряющего поля по отношению к положительным ионам, что в конечном итоге приводит к равенству потоков электронов и ионов при равновесном отрицательном потенциале поверхности. Из элементарных энергетических соображений очевидно, что равновесный потенциал поверхности зависит от средней энергии частиц плазмы - чем выше температура плазмы, тем больший отрицательный потенциал может приобрести поверхность тела. По такой простейшей схеме происходит процесс зарядки тела в двухкомпонентной низкотемпе-

ратурной плазме, например в плазме газового разряда в лабораторных установках, когда вторично-эмиссионные токи и фотоэлектронный ток практически отсутствуют.

В условиях космического пространства энергии воздействующих на поверхность КА электронов и ионов лежат в широком диапазоне, причем плазма может быть многокомпонентной как по ионному составу, так и по характерным значениям энергий и иметь сложные энергетические спектры. Кроме того, КА частично освещается Солнцем. Все это сильно усложняет картину зарядки КА, и равновесное состояние в значительной степени определяется эмиссионными процессами на его поверхности.

Схема процессов на поверхности при заряджении КА в космической плазме показана на рисунке 1.

На рисунке 1а представлена ситуация на неосвещенной поверхности для случая, когда суммарный ток вторичных электронов не превышает электронный ток плазмы, т.е. поверхность заряжается отрицательно. А на рисунке 1б - ситуация на освещенной поверхности КА, причем ток фотоэлектронной эмиссии является преобладающей составляющей, в этом случае поверхность заряжается положительно.



- 1 - поток положительных ионов (протонов) плазмы;
- 2 - поток вторичных электронов, выбиваемых с поверхности падающими ионами;
- 3 - поток электронов плазмы;
- 4 - поток отраженных от поверхности электронов плазмы;
- 5 - поток истинно вторичных электронов;
- 6 - солнечное ультрафиолетовое излучение;
- 7 - поток фотоэлектронов

**Рисунок 1 - Схема процессов на неосвещенной (а) и освещенной (б) поверхности космического аппарата при его заряджении в космической плазме:**

Поверхность современных КА на 80-90% покрыта диэлектрическими материалами - терморегулирующими покрытиями, которые в подавляющем большинстве являются непроводящими, защитными стеклами сол-



нечных батарей и т.д. Поэтому потенциалы освещенных и неосвещенных поверхностей КА не выравниваются. Происходит так называемая дифференциальная зарядка поверхности, в отличие от которой, зарядка КА как единого проводящего тела называется общей зарядкой.

В случае проводящей поверхности избыточные электроны с неосвещенной стороны КА могут свободно перемещаться на освещенную сторону, откуда они удаляются за счет тока фотоэлектронной эмиссии. Этот ток является максимальной составляющей полного тока. В результате поверхность КА заряжается положительно. На неосвещенной стороне происходит монотонное убывание потенциала в пространстве около КА и постепенное приближение его к потенциалу плазмы. На освещенной стороне в распределении потенциала может наблюдаться локальный минимум, обусловленный пространственным зарядом фотоэлектронов, причем потенциал в области минимума может стать отрицательным и далее приближаться к потенциалу плазмы из отрицательной области.

В случае непроводящей поверхности неосвещенная сторона КА заряжается отрицательно электронами плазмы. Если величина отрицательного потенциала на неосвещенной стороне значительна, т.е. зарядение происходит в достаточно горячей плазме, потенциал освещенной стороны КА также может оказаться в отрицательной области (как это показано на рисунке 1). При этом в районе терминатора (граница свет-тень) на поверхности КА возникает значительный градиент потенциала. Распределение потенциала в пространстве около КА на освещенной стороне в данном случае может иметь такую же особенность, как и в случае КА с проводящей поверхностью. Однако возникновение минимума потенциала здесь может быть обусловлено не только пространственным зарядом, но и особенностями структуры электрического поля вблизи КА.

Дифференциальная зарядка поверхности КА возникает также за счет различия вторично-эмиссионных характеристик материалов, находящихся на поверхности, различия условий попадания плазмы на отдельные участки поверхности и наличия на поверхности пазов, щелей и пр.

Характерное время общей зарядки ИСЗ обычно не превышает 0,3 с, а время дифференциальной зарядки может составлять единицы и даже десятки минут, что обусловлено медленным перераспределением зарядов на диэлектрических поверхностях и зарядкой емкостей, образованных этими поверхностями с металлическим корпусом. Стационарное состояние при дифференциальной зарядке может не достигаться, если параметры окружающей плазмы меняются достаточно быстро.

Возникающие при дифференциальной зарядке большие разности потенциалов между отдельными участками поверхности и элементами конструкции КА могут вызвать электрические разряды, создающие электромагнитные, световые и акустические помехи для электронного и оптического оборудования КА.

Величины составляющих полного тока, текущего через поверхность КА, различны и меняются в зависимости от параметров орбиты КА и геофизических условий. Обычно определяющим фактором является соотношение электронного тока плазмы, заряжающего КА отрицательно, и фотоэлектронного тока с поверхности, компенсирующего отрицательный заряд.

На низких околоземных орбитах (в ионосфере) энергия частиц плазмы невелика (0,1 - 0,3 эВ), а концентрация частиц такова, что электронный ток плазмы превышает ток фотоэлектронной эмиссии. Поэтому в ионосфере поверхность КА приобретает незначительный отрицательный потенциал.

При заряджении КА в ионосфере важное значение имеет движение его относительно плазмы. Средняя скорость теплового движения ионов на ионосферных высотах составляет около 1 км/с, в то время как скорость электронов - около 200 км/с. Спутник, движущийся в ионосферной плазме со скоростью 8 км/с, создает позади себя область с пониженной концентрацией ионов - так называемую ионную тень (аналогично возникает область с пониженной концентрацией нейтральных частиц - молекулярная тень). Концентрация электронов за движущимся спутником снижается в значительно меньшей степени из-за высокой тепловой скорости электронов. Поэтому в области ионной тени появляется различие концентраций электронов и ионов, что способствует увеличению отрицательного потенциала на поверхности ИСЗ, обращенной в сторону тени. Эффект образования ионной тени сильно сглаживается влиянием на движение частиц в окрестности ИСЗ электрического поля, создаваемого заряженной поверхностью, и магнитного поля Земли. Тем не менее за счет этого эффекта отрицательный потенциал на поверхности ИСЗ может возрастать в несколько раз по отношению к величине, определяемой на основании средней тепловой энергии электронов.

Реально наблюдаемые отрицательные потенциалы на поверхности КА в ионосфере достигают 3-5 В. Такие потенциалы, как правило, не представляют опасности для его бортовых систем и не вносят существенных искажений в работу научной аппаратуры, устанавливаемой на спутнике. Но в случае дифференциальной зарядки и при столь низких потенциалах возможно возникновение электрических разрядов на поверхности КА между отдельными элементами конструкции. Создаваемые при этом электромагнитные помехи воспринимаются чувствительными научными приборами как посторонние шумы. В последние годы в связи с использованием на КА для измерения параметров ионосферной плазмы высокочувствительных приборов, действие которых основано на регистрации различных локальных плазменных резонансов в радиодиапазоне, с этим видом помех приходится бороться.



Токи частиц плазмы, текущие на поверхность, обусловлены только тепловым движением частиц, если внесенное в плазму тело не заряжено, т.е. находится при потенциале плазмы. Анализ этого случая наиболее прост, он соответствует вычислению потока частиц плазмы через любую произвольно выделенную поверхность.

Результаты расчёта плотностей тока на единицу поверхности для нулевого потенциала для частиц преимущественно концентрированных на высоте 300км, а также приблизительных потенциалов, до которых зарядится единица поверхности при таком токе, приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Высота:300 км					
	день			ночь		
	Ионы водорода	Ионы кислорода	Электроны	Ионы водорода	Ионы кислорода	Электроны
п, 1/м <sup>3</sup>	1,77·10 <sup>10</sup>	3,55·10 <sup>10</sup>	1,77·10 <sup>10</sup>	0,227·10 <sup>10</sup>	0,454·10 <sup>10</sup>	0,227·10 <sup>10</sup>
т, кг	1,66·10 <sup>-27</sup>	2,7·10 <sup>-26</sup>	9,1·10 <sup>-31</sup>	1,66·10 <sup>-27</sup>	2,7·10 <sup>-26</sup>	9,1·10 <sup>-31</sup>
j, А/м <sup>2</sup>	4,15·10 <sup>-5</sup>	5,91·10 <sup>-5</sup>	7,08·10 <sup>-4</sup>	4,9·10 <sup>-6</sup>	7,26·10 <sup>-6</sup>	7.5·10 <sup>-5</sup>
V, В	-0,021			-0,022		
v, м/с	9·10 <sup>3</sup>					

Задача определения потенциала КА в космической плазме тождественна задаче расчета плавающего потенциала зонда с учетом вторичных процессов на поверхности.

Устройство предполагает наличие датчиков тока и устройства обработки информации, приходящей с датчиков. В эксперименте предполагается использовать четыре поверхностных датчика и датчик-зонд. Первичная информация с поверхностных датчиков – это непосредственно значение тока набегающих на поверхность датчика заряженных частиц. После обработки этой информации (см. далее), мы получим информацию о потенциале конкретной точки поверхности КА (диэлектрической оболочки аппарата в точке размещения наших датчиков). С зондов - информацию о потенциале аппарата относительно невозмущенной плазмы, её температуре, и о концентрации заряженных частиц как положительных, так и отрицательных.

Конструкция поверхностных датчиков изображена на рисунке 2. Датчик представляет собой металлическую коробку, внешняя сторона которой (обращённая к окружающей плазме) представляет собой металлическую пластинку, не имеющую контакта с крепёжной металлической частью датчика и корпусом КА. Внутри коробки размещается усилитель тока, протекающего по цепи пластина – сопротивление - корпус КА. Выходной усиленный сигнал поступает на устройство обработки информации.

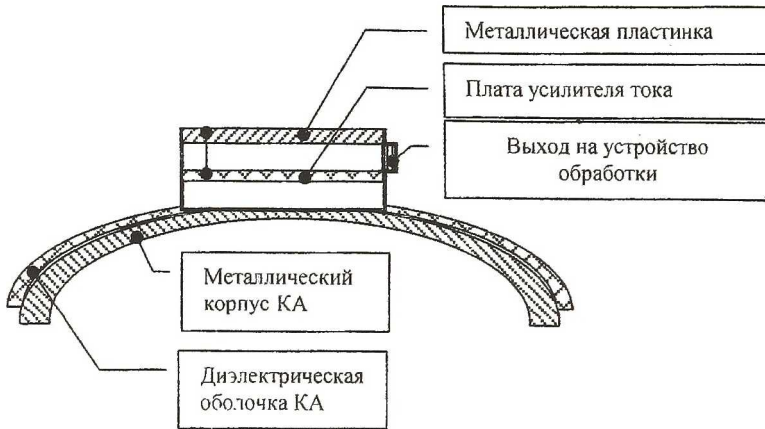


Рисунок 2 – Конструкция поверхностных датчиков

Датчик функционирует следующим образом:

Набегающий поток заряженных частиц попадает на металлическую пластинку, в результате она приобретает заряд, таким образом, между пластинкой и металлической поверхностью аппарата возникает разность потенциалов, что, в свою очередь, возбуждает ток. Измеряя ток, протекающий в цепи, а также его направление, можем сделать вывод о величине и знаке заряда на поверхности датчика.

Зондовые датчики функционируют точно также. Функциональное отличие в том, что датчики будут находиться вне зоны возмущённой плазмы вокруг КА, что исключит ошибку улавливания вторичных и упруго отражающихся электронов. Однако в конструкции разница весьма существенна. Т.к. появляется штанга, длиной 1 м, в конструкции требуется резкое увеличение жесткости, как для крепления штанги, так и для крепления усилительного модуля. Конструкция датчика – зонда изображена на рисунке 3..

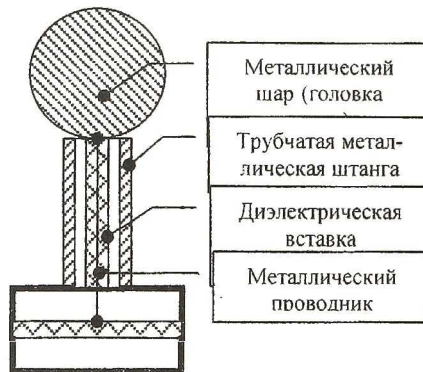


Рисунок 3 – Конструкция датчика-зонда

Схема расположения датчиков показана на рис.4.

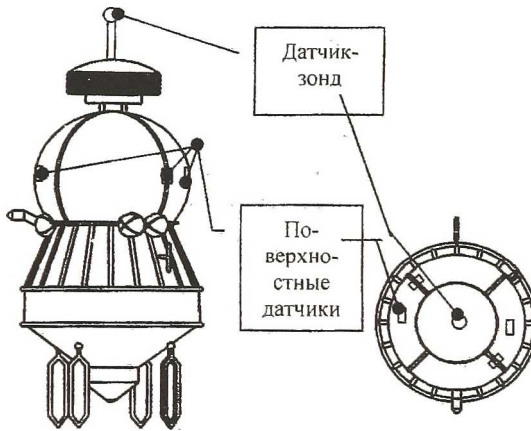


Рис. 4– Схема расположения датчиков на КА «Фотон-М»

Структурная схема прибора приведена на рис. 5 .

Описание структурной схемы:

Управляющее устройство подключает, используя электронный коммутатор определённый датчик. Ток с датчика усиливается, далее поступает в преобразователь ток-код, который запускается управляющим устройством, информация с выхода преобразователя сохраняется в запоминающем устройстве. Периодически записывая данные в запоминающее устройство, мы получим информацию о токах на поверхность в точках размещения датчиков, а также тока на КА в целом, производной которой будет информация о потенциалах и об их изменениях в процессе полёта КА. Потенциалы будут рассчитываться в процессе обработки информации, записанной в памяти.

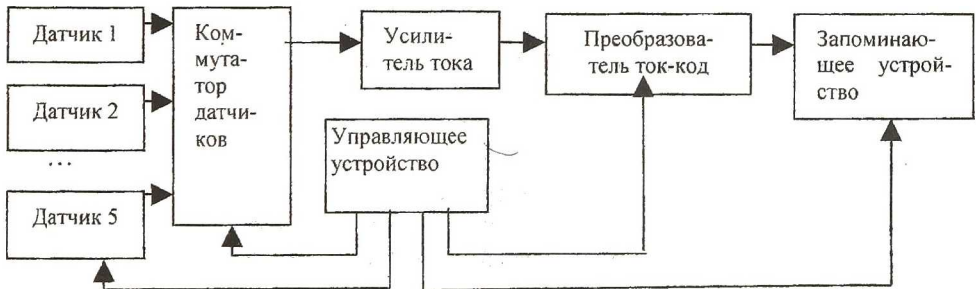


Рисунок 5 – Структурная схема прибора

Периодичность опроса датчиков 1 минута, возможно уменьшение периода опроса во время прохода границы свет-тьнь и увеличение во вре-



мя наиболее медленного изменения заряда, то есть во время прохода участков орбиты с минимальной и с максимальной освещённостью.

Потребляемая мощность составляет менее 1Вт, габариты платы  $\approx 15 \times 20$  см, вес  $\approx 150$  г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ВЕРОЯТНОСТНОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА

Коньгин С.Б.

Адсорбционно–десорбционные процессы являются неотъемлемой частью практически каждого технологического процесса. В настоящее время анализ адсорбционных процессов проводится, как правило, на основании макроскопических (термодинамических) подходов. Эти подходы абстрагируются от микроскопической структуры исследуемой системы и рассматривают ее как сплошную среду, описываемую с помощью усредненных макроскопических параметров. При этом опускается большое количество информации, связанной с процессами, происходящими на атомно-молекулярном уровне. Широкое распространение термодинамических подходов обусловлено следующими обстоятельствами:

относительная простота используемого математического аппарата;  
наличие широкого круга справочной информации по термодинамическим свойствам веществ, параметрам процессов и т.д.;  
относительная простота проведения экспериментальных исследований с целью определения параметров физических моделей.

Однако производственная практика показывает, что значения параметров, входящих в термодинамические модели, испытывают существенные изменения в течение всего срока эксплуатации адсорбента. Чрезвычайно важным является то обстоятельство, что эти изменения происходят за счет таких процессов, которые никак не учитываются в рамках макроскопического подхода. В этой связи для адекватного описания адсорбционных технологических процессов с помощью термодинамических методов необходимо проведение широкого спектра экспериментальных исследований, целью которых является изучения динамики изменения параметров адсорбента в течение срока службы. Проведение такого рода исследований сопряжено со значительными трудностями, обусловленными, в первую очередь, многообразием адсорбентов, адсорбируемых веществ и технологических режимов.

В этой связи разработка новых методов эффективного моделирования адсорбционно-десорбционных процессов представляет значительный интерес. В настоящей работе для анализа указанных процессов предлагается использовать метод вероятностного клеточного автомата (ВКА) /1,2/.